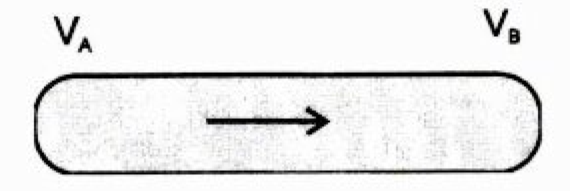
CHAPITRE IV :
COURANT ELECTRIQUE - LOI D'OHM

1. VECTEUR DENSITE DE COURANT ET INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE

1.1 Production du courant

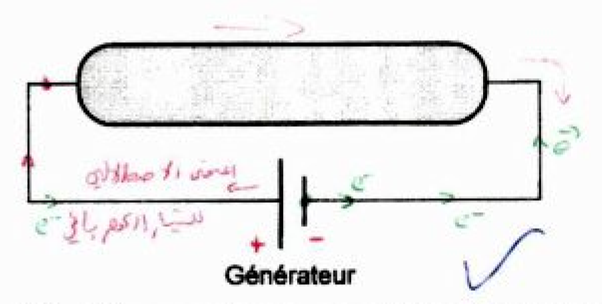
Les courants électriques sont constitués par des charges électriques en mouvement.

Soit un conducteur dont les deux extrémités sont portées à des potentiels différents. On constate que des charges passent d'une extrémité à l'autre dans le sens qui tend à égaliser les potentiels, jusqu'à ce que l'égalité ait lieu.



$V_A > V_B$ le sens du courant est celui selon lequel se déplacent les charge positives. C'est le sens des potentiels décroissants.

Pour obtenir une circulation continue de charges entre les deux extrémités et ainsi créer un courant permanent, on utilise un générateur électrique qui est un dispositif permettant de mettre en mouvement d'une manière permanente les charges dans un circuit fermé.



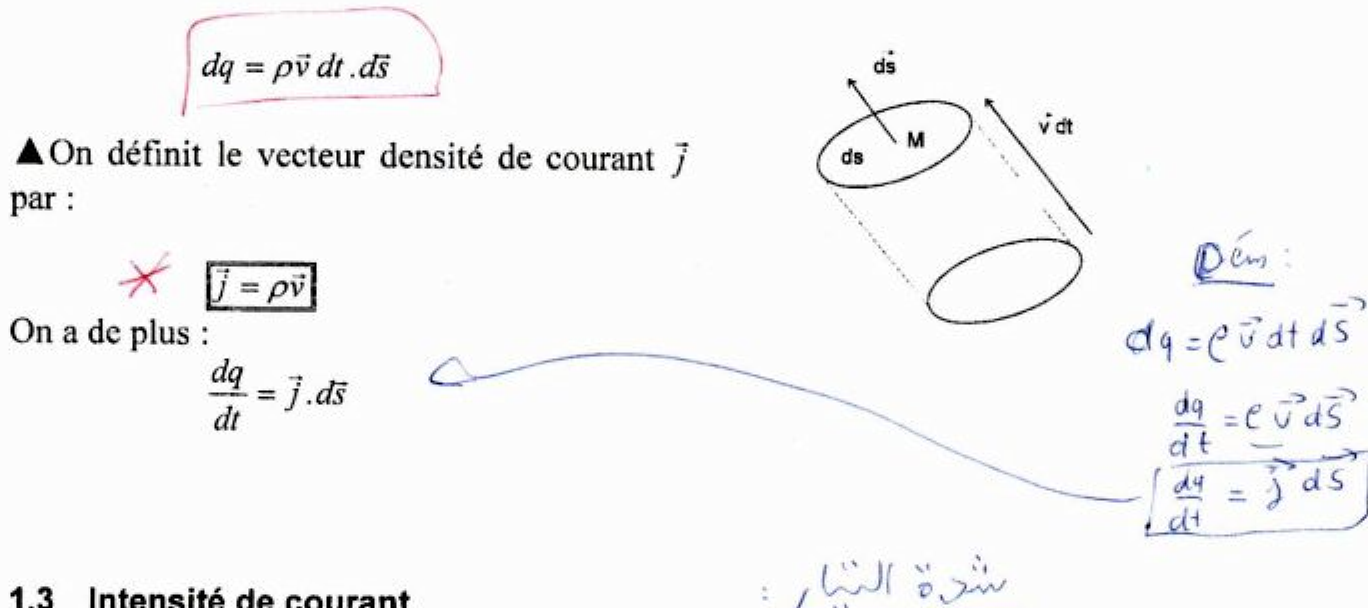
Pour l'étude quantitative des courants, on définit les grandeurs associées suivantes :

- densité de courant
- intensité du courant

1.2 Vecteur densité de courant

Soient des charges mobiles, de densité volumique ρ, se déplaçant avec une vitesse $\vec{v}$ définie en chaque point M d'un conducteur. A travers une surface ds entourant M, il passe, pendant l'intervalle de temps dt, la charge dq :

$$dq = \rho \vec{v}\, dt . d\vec{s}$$



▲On définit le vecteur densité de courant $\vec{j}$ par :

$$\boxed{\vec{j} = \rho \vec{v}}$$

On a de plus :

$$\frac{dq}{dt} = \vec{j} . d\vec{s}$$

1.3 Intensité de courant

Un courant est d'autant intense que les effets qu'il produit sont plus importants. L'intensité caractérise le débit du courant.

▲Par définition, l'intensité dI qui traverse un élément de surface ds est égale au quotient de la quantité d'électricité ayant traversé la surface ds pendant le temps dt par cet intervalle de temps :

$$\boxed{dI = \frac{dq}{dt}}$$

avec

$$dq = \vec{j} . d\vec{s}\, dt$$

▲Si S est une section du conducteur et dQ la charge qui la traverse pendant l'intervalle de temps dt, l'intensité du courant à travers S s'écrit :

$$\boxed{i = \frac{dQ}{dt} = \int_{(S)} \vec{j} . d\vec{s}}$$

On remarque que i est, par définition, le flux de $\vec{j}$ à travers S.

Unité d'intensité :

L'unité d'intensité de courant Idans le système M.K.S.A est l'**ampère (A).**

1 A = 1 C. s^{-1}



1.4 Régime permanent : courant continu et courant variable

Dans le cas général, le vecteur densité de courant (qui caractérise le courant électrique) dépend à la fois des variables d'espace x, y, z et du temps t.
Dans ce cas nous dirons que nous avons affaire à un courant variable.

$$\vec{j} = \vec{j}(x, y, z, t) \quad \leftrightarrow \quad \text{courant variable}$$

Si par contre, le vecteur densité de courant est indépendant du temps nous aurons affaire à un courant continu.

$$\vec{j} = \vec{j}(x, y, z) \quad \leftrightarrow \quad \text{courant continu}$$

Le régime étant donc permanent, $\vec{j}$ est indépendant du temps et il n'y a pas d'accumulation de charges :

$$\int_{(S)} \vec{j}.d\vec{s} = 0 \quad \underline{\text{pour toute surface fermée }}(S).$$

Et d'après le' théorème de la divergence :

$$\int_{(S)} \vec{j}.d\vec{s} = \int_{(V)} div\,\vec{j}\,d\tau$$

$$\boxed{div\,\vec{j} = 0}$$

Le flux de $\vec{j}$ est conservatif.
L'intensité à travers une section S quelconque d'un circuit est indépendante du temps. Dans ce cas on utilise la notation suivante :

$$i = I = c^{te}$$

2. LOI D'OHM

قانون أوم

2.1. Loi d'Ohm locale

قانون أوم المحلي

Soit un conducteur placé dans un champ électrique $\vec{E}$.
▲En régime permanent, le vecteur densité de courant est relié au champ électrique par la loi d'Ohm locale :

$$\boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$$

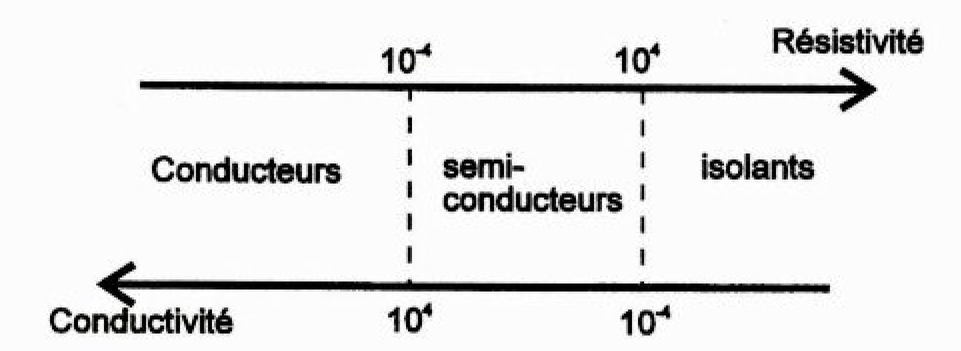
où σ est la conductivité du milieu.
σ s'exprime en $A . V^{-1}. m^{-1}$.

2.2. Conductivité et résistivité

▲On appelle résistivité ρ d'un matériau l'inverse de sa conductivité :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Ces deux grandeurs permettent de classer les matériaux en trois types : les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.



Entre les isolants et les conducteurs, on trouve les semi-conducteurs. Ces derniers jouent un rôle très important en électronique. Le germanium et le Silicium sont les représentant typiques de cette famille (voir chapitre VII : NOTIONS SOMMAIRES SUR LES COMPOSANTES A SEMI-CONDUCTEURS: DIODE ET TRANSISTOR).

2.3. Autre forme de la loi d'Ohm : Notion de résistance

Nous allons maintenant donner une autre forme de la loi d'Ohm, forme déjà rencontrée dans des cours antérieurs.

2.3.1. Résistance d'un conducteur



Soit une portion de conducteur parcouru par un courant I et limitée par deux équipotentielles V_1 et V_2.

▲La résistance de cette portion est par définition le rapport de la différence de potentiel $V_1 - V_2$ à l'intensité I :

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I}$$

R est un coefficient qui ne dépend que de la nature du matériau et de sa géométrie. Il varie par contre avec la température. Pour une résistance usuelle, on a une relation de 1er ordre du type : $R = R_0 (1 + a\,T)$.

La loi d'Ohm appliqué à un conducteur s'écrit donc :

$$\boxed{V_1 - V_2 = R\,I}$$

2.3.2. L'unité d'une résistance



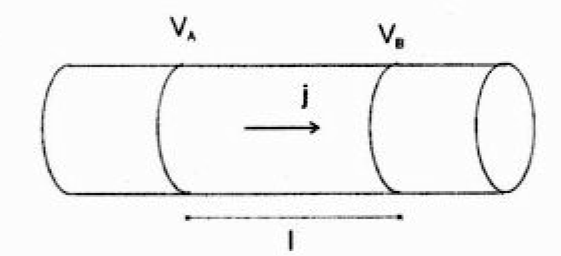
Dans le système M.K.S.A, l'unité de résistance est **l'ohm (Ω).** C'est la résistance d'un conducteur dans lequel circule un courant d'intensité un ampère, lorsque la différence de potentiel entre ses extrémités est d'un volt.

$$1\,\Omega = 1\,V.A^{-1}$$

2.3.3. Résistance d'un fil cylindrique



Considérons un conducteur cylindrique homogène de section S, parcouru par un courant d'intensité I.



Les lignes de courant sont des droites parallèles aux génératrices, les surfaces équipotentielles sont les plans de section droite.

Soit $V_A - V_B$ la chute de potentiel sur une longueur l. Le champ électrique, uniforme, est tel que :

$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E}.\vec{dl} = E\,l$$

L'intensité étant le flux du vecteur courant, a pour valeur :

$$I = j\,S$$

avec

$$j = \sigma E$$

d'où

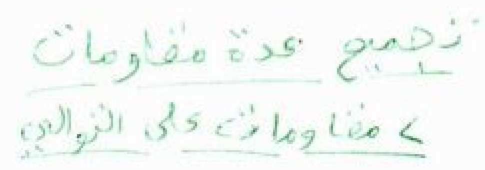
$$V_A - V_B = E\,l = \frac{l\,j}{\sigma} = \frac{l\,I}{\sigma S} = R\,I$$

nous obtenons l'expression de la résistance

$$\boxed{R = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{S} = \rho\frac{l}{S}}$$

La résistance d'un fil cylindrique est donc proportionnelle à sa longueur l et inversement proportionnelle a l'aire S de sa section droite. Le coefficient de proportionnalité est l'inverse de la conductibilité, c'est-à-dire la résistivité du matériau constituant le fil.

2.3.4. Association des résistances



➢ *Résistances en série :*

Considérons deux résistances R_1 et R_2 montées en série :

R₁ R₂ — A B C

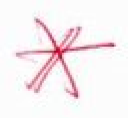
$$V_A - V_C = V_A - V_B + V_B - V_C$$
$$(R_1 + R_2)I = R_1 I + R_2 I$$

Deux résistances R_1 et R_2 montées en série sont équivalentes à la résistance unique:

$$\boxed{R = R_1 + R_2}$$

soit par généralisation :

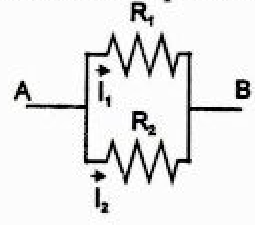
$$\boxed{R = \sum_{i=1}^{n} R_i}$$



➢ *Résistances en parallèle :*





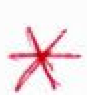


$$I = I_1 + I_2$$
$$I = \frac{V_A - V_B}{R} = \frac{V_A - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

soit par généralisation :

$$\boxed{\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}}$$



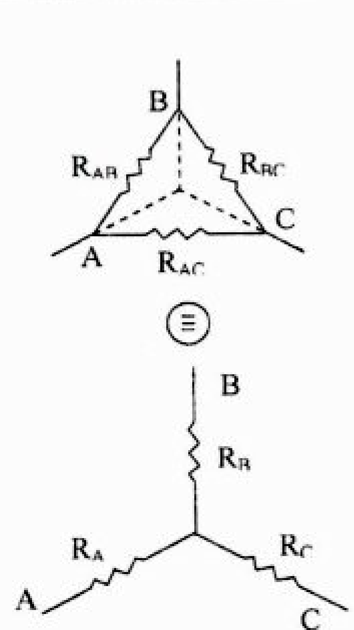
▲ *Théorème de Kennely :*

Un maille triangulaire ABC de résistances R_{AB} , R_{BC} , R_{CA} peut être remplacée par trois résistances R_A , R_B , R_C disposées en étoile et ayant pour valeurs :

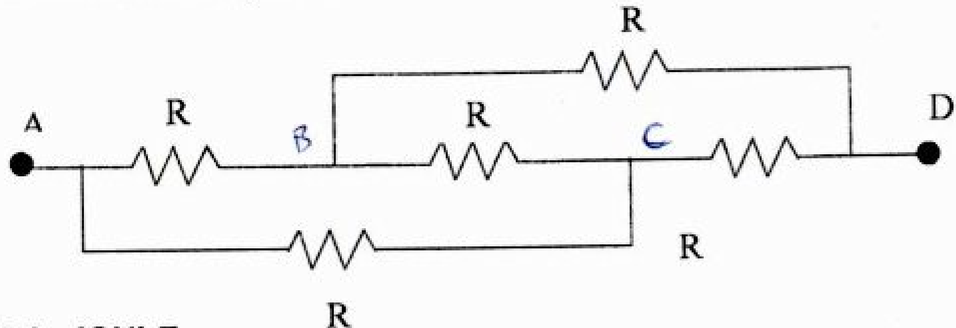
$$R_A = \frac{R_{AB}R_{AC}}{R_{AB}+R_{BC}+R_{AC}}$$

$$R_B = \frac{R_{BA}R_{BC}}{R_{AB}+R_{BC}+R_{AC}}$$

$$R_C = \frac{R_{CA}R_{CB}}{R_{AB}+R_{BC}+R_{AC}}$$

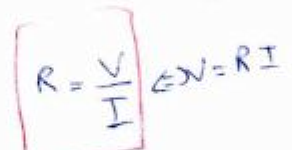


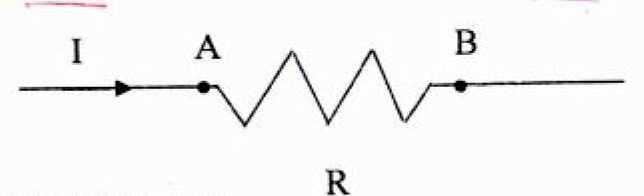
Exemple :
Calculer la résistance équivalente entre A et D du circuit suivant :



3. LOI de JOULE

Considérons un courant électrique continu I traversant une résistance R. Pendant un temps t, la quantité de charge $q = I\,t$ subi la chute de potentiel $V = V_A - V_B$.





Le travail de la force électrique est :

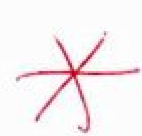
$$W = qV$$

L'expérience montre que ce travail apparaît sous forme de chaleur. Soit :

$$W = V\,I\,t = R\,I^2 t$$

▲Pour la résistance R la loi de Joule donne la puissance électrique suivante :

$$P = \frac{dW}{dt} = V\,I = R\,I^2 = \frac{V^2}{R}$$




ETUSUP.com